

# UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DOS NÍVEIS DE TENSÃO NA REDE ELÉTRICA

Guilherme Rocha dos Santos<sup>1</sup>

Matheus Santana do Nascimento<sup>2</sup>

Engenharia Elétrica



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

O presente trabalho visa a utilização de métodos estatísticos para realizar uma análise aprofundada da qualidade dos níveis de tensão nas redes elétricas de distribuição. A ANEEL, órgão regulador da energia elétrica do Brasil, possui normas para que sejam estabelecidos padrões da qualidade de energia consumida pelo país e dentro dessas normas está a qualidade dos níveis de tensões. A qualidade do nível de tensão pode variar devido a diversos fatores, dentre eles: Desequilíbrio de tensão, Distorções Harmônicas, Flutuação da tensão e Fator de Potência. A estatística se encontra nessa área no momento que é realizado o Controle Estatístico do Processo (CEP), que permite prever até que ponto a energia estará dentro da tolerância da ANEEL, permite reduzir a variabilidade do processo e dentro outras funções. O artigo finaliza com uma análise das contribuições do procedimento estatístico proposto aos procedimentos vigentes.

## PALAVRAS-CHAVE

Tensão Elétrica. Níveis de Tensão. Qualidade de Energia.

## ABSTRACT

This work aims to use statistical methods to carry out an in-depth analysis of the quality of voltage levels in electrical distribution networks. ANEEL, the electric energy regulating body in Brazil, has standards for establishing standards for the quality of energy consumed by the country, and within these standards is the quality of voltage levels. The quality of the voltage level can vary due to several factors, among them: Voltage imbalance, Harmonic Distortions, Voltage fluctuation and Power Factor. Statistics is found in this area when the Statistical Process Control (CEP) is carried out, which allows the prediction of the extent to which energy will be within ANEEL's tolerance, allows to reduce the variability of the process, and among other functions. The article ends with an analysis of the contributions of the proposed statistical procedure to the current procedures.

## KEYWORDS

Electric Voltage. Voltage Levels. Power Quality

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

A energia é algo básico para o desenvolvimento socioeconômico e primordial para o crescimento econômico (GOLDEMBERG, 1998). Hoje em dia, com a velocidade com que as tecnologias vêm avançando, é de extrema necessidade que o insumo de energia elétrica do país cresça acompanhando esta velocidade. O desenvolvimento de um país pode ser diretamente relacionado com a disponibilidade energética. A disponibilidade de energia implica transformações que se revertem em melhorias nas dimensões econômicas, sociais, ambientais e institucionais do desenvolvimento da economia nacional (SCHAEFFER *et al.*, 2003).

Desde o descobrimento da energia elétrica e sua ampla utilização no final do século XIX, o homem vem se tornando cada vez mais dependente desse insumo (ITO, 2003). No Brasil, os órgãos públicos do setor de energia elétrica foram fundamentais para o crescimento da disponibilidade desse insumo, com a viabilização do surgimento das companhias de eletricidade, construções de usinas elétricas e criação de instituições governamentais vinculadas ao setor energético, com fins de planejamento e regulamentação.

Segundo o modelo brasileiro de concessões e comercialização de energia, as empresas dividem-se em três segmentos: geração, transmissão e distribuição. As empresas de distribuição prestam serviço em regiões específicas, denominadas áreas de concessão, tendo a missão de atender às comunidades residenciais, comerciais e industriais quanto ao fornecimento de energia elétrica. Para participar da distribuição de energia, as empresas devem concorrer em processos licitatórios abertos. Como

parte do processo licitatório, um contrato de concessão de distribuição de energia elétrica é firmado entre a empresa distribuidora vencedora na referida área de concessão e o governo, por meio de seu representante, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (VACCARO, 2011).

## **2 PROCEDIMENTOS E INDICADORES DE QUALIDADE DOS NÍVEIS DE TENSÃO**

A ANEEL estabelece que a concessionária deve ter um programa periódico trimestral de medições, no qual é selecionada uma amostra de unidades consumidoras para apuração dos indicadores de conformidade de tensão (BRASIL, 2008). As medições devem ter duração mínima de 168 horas, com intervalos de integração de 10 minutos, a partir de leituras com janelas fixas e consecutivas de 12 a 15 ciclos, totalizando 1.008 registros válidos. As medições devem ser feitas entre fases e entre fases e o neutro.

Os indicadores a serem apurados são: Duração relativa da transgressão de tensão precária (DRP) e Duração relativa da transgressão de tensão crítica (DRC). O DRP expressa o percentual de leituras realizadas nas faixas precárias de tensão em relação ao total de leituras realizadas no período de medição. De forma análoga, o DRC expressa o percentual de leituras realizadas nas faixas críticas de tensão como um percentual do total de leituras realizadas no período de medição.

O cálculo dos índices é realizado da seguinte forma: DRP é a razão entre as medições na faixa precária e a quantidade total de medições e DRC é a razão entre as medições na faixa crítica e a quantidade total de medições, limite máximo a ser observado para o DRP foi estabelecido em 7% para o ano de 2004, sendo reduzido de um valor absoluto de 1% a cada ano, no período de 2005 a 2007. A partir de 2008 passou a ter o valor fixo de 3%.

Da mesma forma, o limite máximo a ser observado para o DRC foi estabelecido em 1,1% para o ano de 2004, sendo este reduzido de um valor absoluto de 0,2% a cada ano, no período de 2005 a 2007. A partir de 2008 passou a ter o valor fixo de 0,5% (BRASIL, 2008).

## **3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO**

Para analisar a qualidade dos níveis de tensão é utilizado um sistema para realizar o controle do processo utilizando a estatística. O Controle Estatístico do Processo (CEP) consiste na aplicação de um conjunto de técnicas estatísticas para determinar se o resultado do processo segue as especificações estabelecidas para um produto ou serviço. Ele fundamenta-se em três princípios da probabilidade e estatística, a saber: o teorema do limite central, a estratificação das causas da variabilidade entre comuns e especiais e o conceito de independência entre observações (MONTGOMERY, 2004; LIN; CHOU, 2004).

O teorema do limite central garante que a distribuição da média dos dados de uma população qualquer, tenda a seguir um padrão normal. A estratificação entre causas comuns e especiais permite focalização em ações consideradas significantes

para a melhoria do processo. Tipicamente, as causas comuns são as pequenas causas que atuam de forma aleatória e inevitável sobre o processo e geralmente requerem intervenções sobre todo o sistema para que sejam eliminadas.

Causas especiais, ou assinaláveis, seguem padrões sistemáticos de ocorrência, tendo efeito expressivo sobre o sistema. Podem ser eliminadas por ações focadas, atuando sobre um recurso, equipamento ou condição operacional. A utilização do CEP é de grande importância pois ele é capaz de informar até que ponto o processo manterá as tolerâncias estabelecidas, auxilia a estabelecer intervalos entre amostras para monitoramento de um processo e permite reduzir a variabilidade em um processo.

Foram realizados cálculos do índice de capacidade do processo, do índice de capacidade que mede a capacidade efetiva do processo e os índices de desempenho de um processo que são utilizados quando o processo não está sob controle (VACCARO, 2011).

## **4 AUTOCORRELAÇÃO DOS DADOS**

Em estatística, autocorrelação de uma medida informa o grau de dependência entre valores sucessivos de uma série aleatória. Em um processo autocorrelacionado positivamente, por exemplo, um valor acima da média tende a ser seguido por outro valor acima da média, enquanto um valor abaixo da média é, usualmente, seguido por outro valor do mesmo tipo. Isso produz uma série de dados que tem uma tendência a se mover em sequências moderadamente longas em cada um dos lados da média.

Um dos pressupostos de grande parte dos procedimentos clássicos de análise estatística é o de que os dados utilizados sejam provenientes de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas. Nessa situação ideal, dada uma variável aleatória  $X$ , há garantias da estatística clássica de que a média e a variância de uma amostra de  $X$  podem ser calculadas e corretamente representadas pelos estimadores da média e da variância (VACCARO, 2011).

## **5 QUALIDADE DA ENERGIA**

A qualidade do serviço prestado pelas empresas de distribuição de energia pode ser avaliada nos seguintes aspectos: a continuidade do fornecimento; a qualidade do atendimento ao consumidor e a qualidade da energia elétrica. Esses aspectos são pontos básicos para a definição dos diversos critérios de localização e arranjo das subestações; a localização; os equipamentos; a regulação de tensão e a configuração da rede de distribuição.

Segundo a ANEEL, os parâmetros que caracterizam a qualidade da energia elétrica fornecida, tanto em regime permanente como transitório, são: Tensão em regime permanente; Fator de potência; Distorções harmônicas; Desequilíbrio de tensão; Flutuação de tensão e Variações de tensão de curta duração. Fundamentalmente a qualidade da energia elétrica está diretamente relacionada com a qualidade da tensão.

Nos sistemas elétricos pode-se controlar somente a tensão, não sendo possível exercer qualquer controle sobre a corrente elétrica. Assim a perda na qualidade da energia elétrica é qualquer anomalia na forma de onda da tensão elétrica ou na corrente elétrica. Do ponto de vista do consumidor, é possível definir a qualidade da energia elétrica como sendo o recebimento de energia elétrica como regime de tensão em conformidade com parâmetros estabelecidos em regulamentação específica do órgão regulador e compatível com os requisitos técnicos necessários à operação adequada do equipamento eletroeletrônico, de forma a garantir a vida útil do mesmo, segundo especificações técnicas de fabricantes adequados.

A variabilidade é inerente a qualquer tipo de processo. Isso significa que todo processo, mesmo operando em condições desejadas de serviço, apresenta variabilidade nos itens que produz. Em processos produtivos, por exemplo, as medidas de duas peças podem diferir por causa do desgaste de uma ferramenta, natureza do material, ou mesmo da temperatura do equipamento de processamento. Tempos de atendimento em serviços também são exemplos de operações que apresentam variabilidade.

A variabilidade sempre existirá e a sua eliminação completa não é o objetivo principal de uma organização. No entanto, deve haver uma preocupação em identificar as causas da variabilidade, com o objetivo de reduzi-la, facilitando os processos de gestão e minimizando os riscos de não conformidades. A conformidade de um produto ou processo está diretamente relacionada às especificações sob as quais esse produto ou processo está submetido. Ela constitui uma das visões possíveis de qualidade, quando esta é entendida como a capacidade de um produto ou serviço em atender às expectativas de um indivíduo ou organização com relação a um padrão (sensível) de satisfação.

Esse aspecto da qualidade é também referido como a adequação ao uso e às condições de uso. Como conceito integrador, qualidade pode ser definida como o inverso da variabilidade, indicando também a necessidade de conformidade com especificações. As premissas tipicamente estabelecidas são que os dados gerados pelo processo, quando sob controle, são distribuídos normal e independentemente com média e desvio padrão. Quando as suposições são satisfeitas, os gráficos de controle permitem estabelecer conclusões sobre o estado de controle estatístico do processo.

A suposição mais importante relativa aos gráficos de controle é a de independência das observações, porque os gráficos de controle convencionais não funcionam bem se a característica da qualidade apresenta níveis, ainda que baixos, de correlação ao longo do tempo. Em estatística, auto correlação de uma medida informa o grau de dependência entre valores sucessivos de uma série aleatória.

Em um processo autocorrelacionado positivamente, por exemplo, um valor acima da média tende a ser seguido por outro valor acima da média, enquanto um valor abaixo da média é, usualmente, seguido por outro valor do mesmo tipo. Isso produz uma série de dados que tem uma tendência a se mover em "sequências" moderadamente longas em cada um dos lados da média. Como consequência, corre-se o risco de subestimar a variabilidade intrínseca ao processo, em função da proximidade entre observações sucessivas. Quando possível, uma amostragem menos frequente pode interromper a autocorrelação nos dados do processo.

## 6 CONCLUSÃO

Ao realizar esse estudo podemos perceber uma abordagem fundamentada em métodos de probabilidade de análise de séries de dados, para a avaliação dos níveis de qualidade das tensões em circuitos de distribuição de energia elétrica. Essa abordagem é uma alternativa que concerne ao método de coleta e análise dos dados, mas respeita os padrões estabelecidos pela ANEEL.

A análise foi realizada de forma comparativa, podendo observar que os dados coletados sofrem forte influência da autocorrelação positiva, podendo nos dar estimativas muito otimistas se analisarmos a variabilidade das tensões recebidas. Na abordagem, a análise dos dados relativos da tensão de fornecimento de energia considera somente os critérios de adequação estabelecidos pela ANEEL, os quais são fundamentados apenas na contagem das ocorrências em cada nível, porém não há uma análise mais criteriosa dos dados podendo perder a possibilidade de avaliação de padrões de comportamento sobre a variação dos níveis de tensão.

Uma abordagem estatística permitirá melhor conhecimento do comportamento dos níveis de tensão ao longo do tempo. Esse conhecimento pode ajudar a desenvolver alternativas técnicas de mudanças nos sistemas elétricos de distribuição que buscam melhorar a qualidade da tensão de fornecimento, com cada vez mais custos menores.

Além disso, permite qualificar o serviço prestado ao consumidor, podendo diminuir os dados e custos gerados por possíveis reparos, assim como na elaboração de planos de manobras que aproveitem a efetiva capacidade instalada da rede, auxiliem na programação de desligamento, objetivando a minimização das interrupções por falta de energia e nos estudos de planejamento do sistema elétrico de distribuição.

## REFERÊNCIAS

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8\\_24032006\\_SRD.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_24032006_SRD.pdf). Acesso em: 26/09/2019

BRITO, M. P. **Geração distribuída: critérios e impactos na rede elétrica**. 2007. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

SCHAEFFER, R. *et al.* **Energia e pobreza: problemas de desenvolvimento energético e grupos sociais marginais em áreas rurais e urbanas do Brasil**. Santiago: CEPAL, 2003.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. São Paulo: Edusp; Cesp, 1998.

LIN, Y. C.; CHOU, C. Y. On the design of variable sample size and sampling intervals X charts under non-normality. **International Journal of Production Economics**, n. 96, 249-261, 2005

VACCARO, Guilherme. Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica, vol 21, n.3, 2011

---

**Data do recebimento:** 22 de julho de 2019

**Data da avaliação:** 11 de novembro de 2019

**Data de aceite:** 11 de dezembro de 2019

---

---

1 Acadêmico em Engenharia Elétrica Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: guilherme.ralves@souunit.com.br

2 Acadêmico em Engenharia Elétrica Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: matheus.nascimento99@souunit.com.br